

補助事業番号 2017M-133

補助事業名 平成29年度 心臓カテーテル手術を支援する心臓定量化ソフトウェアの研究
開発 補助事業

補助事業者名 岩手県立大学、教授、土井章男

1 研究の概要

研究期間内では、ブロッケンブロー手技と左心耳閉鎖術が必要な患者に対して、カテーテル経路と左心耳閉鎖のシミュレーション機能を研究開発し、臨床応用を行いながら、その機能や精度、使い易さを向上させる。術前計画支援機能には、汎用的な3次元画像処理機能（画像表示／画像編集／3Dプリント／計測機能）に加えて、経食道心臓エコー検査のシミュレーション機能を搭載する。

2 研究の目的と背景

心臓治療は、大別すると心筋に酸素および栄養を送る動脈である冠動脈に着目した冠動脈疾患とそれ以外の非冠動脈疾患に分けられる。冠動脈疾患は、冠動脈の血流量が減少することで動脈硬化、胸痛、狭心症、急性心筋梗塞等が発祥する。治療には、狭窄した血管のバイパス手術やその内部にバルーンカテーテルを挿入して、血管内部を拡張することで、血流を確保することが行われている。非冠動脈疾患は「構造心臓病」（「ストラクチャー・ハート・ディジーズ」、SHD と略される）と呼ばれており、病名としては、大動脈弁狭窄症、心房中隔欠損症、僧帽弁狭窄症、閉塞型肥大型心筋症などが挙げられる。

非冠動脈疾患において、最先端の心臓弁膜症治療では、新しいカテーテルによる大動脈弁治療が着目されており、胸を開かず、また、心臓を止めることもなく、「人工弁」を心臓に装着するため、患者への負担を最小限に抑えることが可能になっている（「経カテーテル大動脈弁治療（Transcatheter Aortic Valve Implantation:TAVI）」と呼ばれている）。

しかしながら、構造心臓病は患者毎の解剖のバリエーションが多彩であるため、術前の治療計画が非常に重要であり、治療成績に直結する。現状では、国内外の非冠動脈疾患に関する領域の研究開発は非常に遅れている。従来 of 商用の医用画像処理システムは、主に静的な画像を対象としており、その製品価格は非常に高価であり、機能も冠動脈疾患に特化している。また、研究用途のオープンなシステム（Osirix、ImageJ、3D Slicer など）は利用可能であるが、心臓特有の軟部組織臓器や心臓弁に着目したシステムでないため、機能面においても不十分である。

3 研究内容

(1) 心臓カテーテル手術を支援する心臓定量化ソフトウェアの研究開発
(http://advancedvislab.com/?page_id=1520)

1) 各種画像 (CT、エコー、SPECT) の位置合わせ

狭心症や心筋梗塞などの心臓疾患を特定する方法として、経食道心エコー検査やSPECT画像による診断が挙げられる。経食道心エコー検査は、エコー画像のみを参照しながら医師が手動でプローブの深さ、扇状の超音波照射角度を感覚的に調整して行う。しかし、エコー画像のみでは、心臓の3次元的な位置把握が困難である。そこで、心臓CT画像とエコー画像を併用し、相互情報量を評価尺度とした「自動位置合わせ機能」や「対話的な位置合わせ機能」を実現する。現在は、評価尺度として相互情報量、最適化手法としてDownhill Simplex法やPowell法を用いて、時系列CT画像やエコー画像の位置合わせを行っている。使用する変数はXYZ各軸方向への移動および回転の6変数である。また、心臓CT画像から冠状動脈や上行大動脈を自動抽出することで、心臓の位置を推定している。今後、CT画像とSPECT画像の3次元位置合わせも行う予定である。

2) 大動脈、冠状動脈、心臓内腔などを指定したルールや自動検査を行う機能

虚血性心疾患の診断では虚血部に血液を送っている責任血管を特定することが重要である。しかし、心臓CTのスライス画像から冠状動脈のつながりや狭窄を観察することは困難である。特に心臓CT画像のボリュームレンダリング表示では、他の人体構造が冠状動脈の視認を妨げるため観察が難しくなっている。心臓CT画像の読影を効率化・定量化するために、心臓CT画像からハフ変換を用いて上行大動脈を抽出する。更に、上行大動脈から冠状動脈および左心室の自動抽出を行う。冠状動脈については、細線化フィルタリングを用いた自動AHA分類を行い、狭窄部を特定する (図1)。

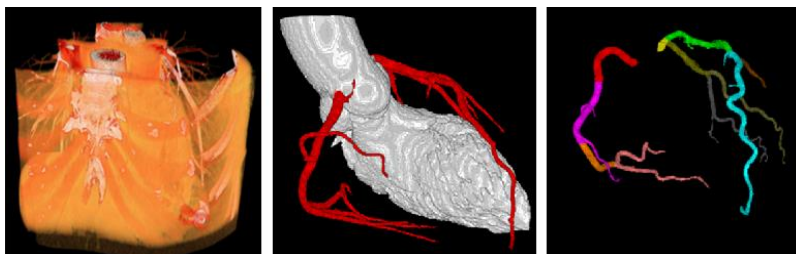


図1 心臓CTからの冠状動脈と左心室の自動抽出、冠状動脈の自動AHA分類

3) 心臓エコー画像の術前計画支援ツールの研究開発

本共同研究では、心臓外科医からの要望が多い、心臓エコー画像に対する術前計画支援ツールの研究開発を行う。岩手医科大学医学部の教員とスタッフから現場ニーズを調査し、エコー検査装置と「同等の操作感」を目指す。システムデザインについては、3次元可視化ソフトの豊富な製品開発ノウハウを持つ株式会社ジェーエフピーの意見を取り入れる。システム起動時には経口部の位置を抽出して、プローブ位置を自動決定する。更に、経食道心エコーの診断ルーチンを自動化して、0度 (水平断)、90度 (垂直断)、135度 (長軸)、45度 (短軸) の選択や、ダイヤル式の回転とビーム中心の対話的な微調整を可能とする。同時に3次元ビューとエコービューの対応により、互いの位置を分かり易く表示する (図2)。

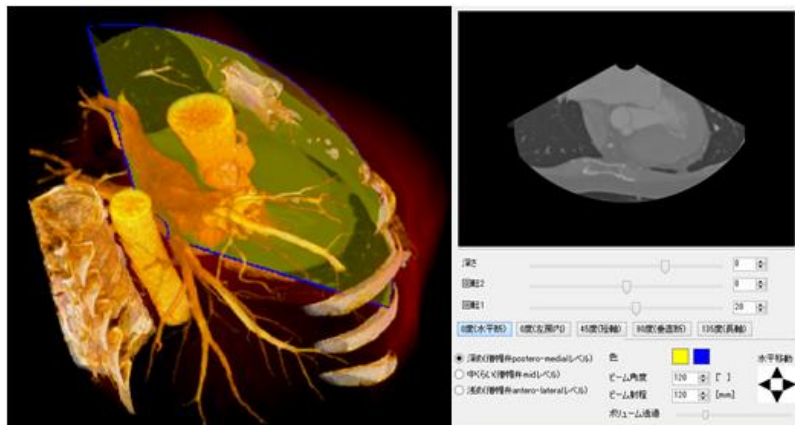


図2 心臓CTとエコー画像の対話的表示

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

弁膜症、先天性心疾患、肺血栓塞栓症などの構造的な心疾患（SHD:Structural Heart Disease）は、患者毎の解剖のバリエーションが多く、心臓カテーテル手術の治療計画が非常に重要であり、治療成績に直結する。そのため、術前に得られる画像情報から、解剖の3次元可視化、定量・定性評価などを正確かつ円滑に行えるソフトウェアの研究開発が強く求められている。また、今後の治療適応や症例数が飛躍的に拡大することを考慮すると、現代の循環器医療の最重要かつ早急な研究課題である。

構造的な心疾患に対するカテーテル手術は、心臓弁（大動脈弁、僧帽弁、肺動脈弁、三尖弁など）、心臓内腔、各種血管などの拍動する軟部組織臓器の抽出や可視化が重要となってくる。そのため、本研究においては、心臓血管や軟部組織に着目した動的な3D心臓モデル構築を行い、同時にカテーテル操作が可能な術前計画支援システムを研究開発する。様々な治療や研究にも活用可能な汎用的ソフトウェアを目指し、国内外の大学病院や医院に無料で公開し、その有効利用を試みる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

循環器病治療に対するカテーテル治療は急速に発展しており、本領域は解剖学的バリエーションが多いため、術前計画が治療の成否に直結する。そこで、我々は心臓内腔、各種血管などの拍動する軟部組織臓器の抽出を行って、動的な3D心臓モデルを作成し、カテーテル手術の手技をシミュレーションすることで、医師の術前計画策定を支援する。本シミュレーション機能やカテーテル治療に特化した術前計画支援機能により、多くの医師や研究者が多彩な臨床事例に適用できるようになる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

2019年度：

- 1) 高橋弘毅, 加藤徹, 関村匠斗, 土井章男, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, ”経食道心エコーシミュレーションソフトウェアの開発”, 第2回ビジュアルライゼーションワークショップ, ポスター発表, 2019/3.
- 2) 加藤徹, 関村匠斗, 土井章男, 馬渡太郎, 菅原卓, ”深層学習を用いたCT画像からの自動骨抽出ツールの開発”, 第2回ビジュアルライゼーションワークショップ, ポスター発表, 2019/3.
- 3) 関村匠斗, 土井章男, 加藤徹, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, ”半教師学習による心臓のセマンティックセグメンテーションの基礎検討”, 電子情報通信学会医用画像研究会, メディカルイメージング連合フォーラム, 2019/1.
- 4) 高屋敷至, 関村匠斗, 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, 菅原卓, ”FCNを用いた高解像度な3次元画像のセグメンテーション手法の研究開発”, 平成30年度芸術科学会東北支部大会, 大会論文, 2019/1.
- 5) 小原崇裕, 関村匠斗, 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, ”3次元膝CT画像から骨切ライン自動抽出に関する研究”, 平成30年度芸術科学会東北支部大会, 大会論文, 2019/1.

2018年度：

- 1) 関村匠斗, 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, 一戸貞文, ”FCNを用いたインスタンスセグメンテーションによる脊椎の抽出”, 電子情報通信学会医用画像研究会, ポスター発表, 2018/3.
- 2) 関村匠斗, 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, 一戸貞文, ”Fully Convolutional Networkによる整形外科手術の診断技術獲得”, 情報処理学会第80回全国大会, “発表資料”, 2018/3.
- 3) 高橋弘毅, 加藤徹, 関村匠斗, 土井章男, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, ”経食道心エコーシミュレーションソフトウェアの開発”, 可視化情報学会第一回ビジュアルライゼーションワークショップ, 2018/3.
- 4) 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, 一戸貞文, ”大腿骨と骨盤の自動抽出および自動分類手法”, 可視化情報学会第一回ビジュアルライゼーションワークショップ, 2018/3.
- 5) 加藤徹, 高橋弘毅, 土井章男, 馬渡太郎, 一戸貞文, ”大腿骨と骨盤の自動抽出および自動分類手法”, 平成29年度芸術科学会東北支部・大会論文, 29-06, 2018/1.

2017年度：

- 1) S. Sekimura, T. Kato, H. Takahashi, A. Doi, T. Mawatari, and T. Sugawara, “Development of automatic bone extraction tool from CT images using deep neural network”, The 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics (AROB2019), 2019/1, Japan(Bepu).
- 2) M. Hozawa, Y. Morino, Y. Matsumoto, R. Tanaka, K. Nagata, A. Kumagai, A. Tashiro, A. Doi, K. Yoshioka, “3D-computed tomography to compare the dimensions of the left atrial appendage in patients with normal sinus rhythm and those with paroxysmal atrial fibrillation”, Journal of Heart and Vessels, ISSN 0910-8327, Springer, 2018.
- 3) S. Sekimura, A. Doi, K. Kato, M. Hozawa, Y. Morino, “An Extraction Method of Coronary Artery and Left Ventricle from Heart CT Images based on Hough Transformation and Region Growing”, The Twelfth 2017 International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS 2017), 2017/11, Nagoya (to be appeared).

- 4) A. Doi and T. Chiba, "An automatic image registration method using downhill simplex method and its applications", The 12th International Workshop on Network-based Virtual Reality and Tele-existence (INVITE 2017), 2017.
- 5) 関村匠斗, 土井章男, 加藤徹, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, "心臓CT画像からの冠状動脈の自動抽出および分類手法の提案", 日本バーチャルリアリティ医学会, 第17回日本VR医学会学術大会, 2017/8/26.
- 6) 三田裕介, 土井章男, 馬渡太郎, "医用画像レジストレーションの最適化手法に関する基礎的研究", 平成29年度第2回芸術科学会東北支部・研究会論文29-02-01, 2017.
- 7) M. Hozawa, Y. Morino, Y. Matsumoto, K. Yoshioka, R. Tnaka, T. Tashiro, A. Kumagai, K. Nagata, A. Doi, "Morphology and Functional Characteristics of the Left Atrial Appendage", TOPIC2016(Tokyo Percutaneous cardiovascular Intervention Conference 2016), 2016/7.
- 8) 土井章男, 関村匠斗, 加藤徹, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, "心臓カテーテル手術のための術前計画支援に関する基礎的検討", 日本バーチャルリアリティ学会第30回テレマージョン技術研究会(可視化情報学会見える化研究会との合同研究会), Vol. 021, No.TTS03, 2016.
- 9) 関村匠斗, 土井章男, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, "3次元心臓CT画像からの自動冠動脈抽出に関する研究", 第79回情報処理学会全国大会(学生奨励賞), 2017/3.
- 10) 関村匠斗, 土井章男, 加藤徹, 朴澤麻衣子, 森野禎浩, "心臓CT画像からの冠状動脈と左心室の自動抽出法", 電子情報通信学会医用画像研究会, 2017/5/25-26, 名古屋工大.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

狭心症や心筋梗塞などの心臓疾患を特定する方法として、経食道心エコー検査やSPECT画像による診断が挙げられる。経食道心エコー検査は、エコー画像のみを参照しながら医師が手動でプローブの深さ、扇状の超音波照射角度を感覚的に調整して行う。しかし、エコー画像のみでは、心臓の3次元的な位置把握が困難である。そこで、心臓CT画像とエコー画像を併用し、相互情報量を評価尺度とした「自動位置合わせ機能」や「対話的な位置合わせ機能」を実現した。

経食道心エコー画像は画質が低く、部位の位置や形状を正確に捉えることが困難である。CT画像から擬似的な心エコー画像を作成し、心エコー画像とCT画像の対比を行うことで、より正確な診察を可能にする。経食道心エコーとは、プローブを経食道へ挿入し、プローブ先端部からの超音波エコーによって画像を生成する。プローブ操作は、前後屈ノブ及び側屈ノブによる回転、チューブの時計方向・反時計方向の回転、及び挿入の深さによって前進、後退を行う。

本研究で作成した経食道エコー診察支援システム(以下、本システム)は、以下の機能を有する。また、現状のユーザインタフェースを図1に示す。

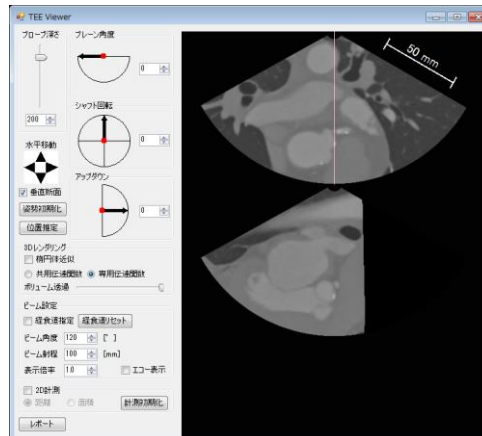


図3 ユーザインタフェース

心エコー画像は、プローブ位置を中心とした扇形の画像である。本システムはこれを模倣し、仮想プローブ位置から指定した範囲、角度のCT断面(以下CTエコー画像)を生成する。これにより心エコー画像との対応付けが容易となる。

現在ビームシミュレーションにより表示している領域を、ボリュームレンダリング表示と同じ三次元空間に表示する(図4)。この機能により、本システムを実際の心エコー検査と同時に使用することで、医師が操作中のプローブの現在位置を三次元的に正確に把握することが可能となる。ただし、ボリュームレンダリングの状態やプローブ位置によって、CTエコー画像が読み取りづらくなる場合がある。そのためボリュームレンダリングの透明度や伝達関数を医師が任意で設定できるようになっている。

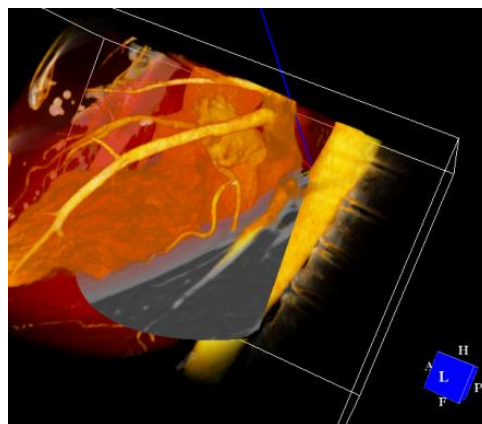


図4 VRとエコーの同時表示

現在表示中の部位に対し、mm単位での距離計測が可能である。また、距離計測の際の始点、終点はボリュームレンダリング上のCTエコー画像上にも表示され、三次元空間上の線分として見る事ができる(図5)。現在表示しているCTエコー画像を任意の位置で90°回転した垂直断面表示を行うことができる(図7)。

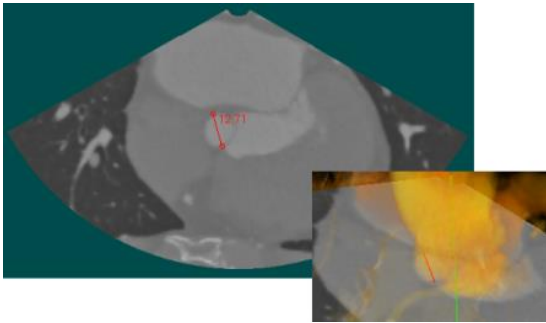


図5 計測結果の3次元表示(距離)

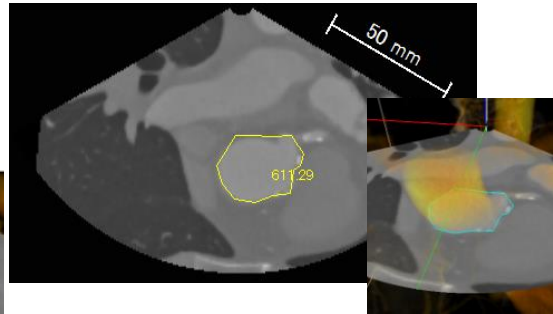


図6 計測結果の3次元表示(面積)

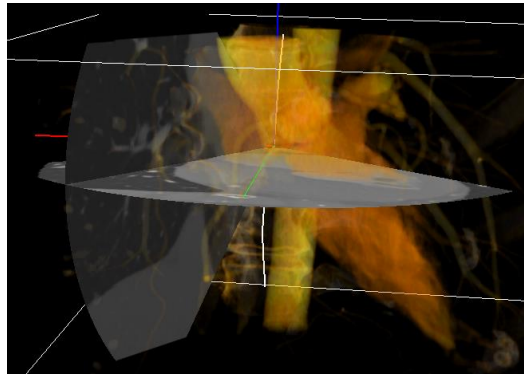
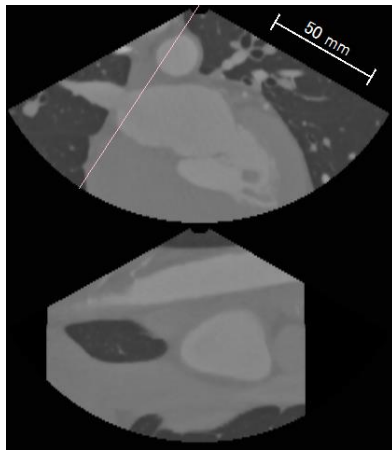


図7 90° 断面表示 (左:スライス断面、右:3D表示)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
(イワテケンリツダイガクソフトウェアジョウホウガクブ)

住 所: 〒020-0693
岩手県滝沢市菓子152-52

担 当 者: 教授 土井章男(ドイアキオ)

担 当 部 署: ソフトウェア情報学部(ソフトウェアジョウホウガクブ)

E - m a i l: doia@iwate-pu.ac.jp

U R L: <http://advancedvislab.com/>